

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

ÚSTAV materiálového inženýrství



PŘÍČINY PORUŠENÍ LISOVACÍCH KLEŠTÍ

THE FAILURE CAUSES OF PRESSING TONGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ROHLOVÁ MARIE

Vedoucí práce: Ing. Elena Čižmárová Ph.D

Leden 2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství
Technická 4, 166 07 Praha 6 Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: **Marii ROHLOVOU**

program: Teoretický základ strojního inženýrství

obor: bez oboru

název česky: **Příčiny porušení lisovacích kleští**

název anglicky: The failure causes of pressing tongs

Zásady pro vypracování:

Cíl:

Návrh postupu experimentů při hodnocení příčiny porušení lisovacích kleští pro svařování za studena trolejového drátu.

Postup:

1. Rešeršní činnost v oblasti hodnocení příčin porušování nástrojů.
2. Studium charakteru porušení.
3. Návrh vhodného materiálu.
4. Závěry.

Rozsah průvodní zprávy:

15 – 20 stran

Rozsah grafických prací:

dle potřeby

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

[1] KOUTSKÝ, J. - JANDOŠ, F. - KAREL, V.: Lomy ocelových částí, SNTL, Praha 1976

[2] PLUHAŘ, J. a kol.: Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu. SNTL Praha 1987

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Elena ČIŽMÁROVÁ, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

31. října 2014

Datum odevzdání bakalářské práce:

18. prosince 2014

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 31-10-2014
student

.....

Prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí ústavu



.....

Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 1. října 2014

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.“

Rohlová Marie

Praha 2014

.....

ANOTACE

Bakalářská práce byla vypracována za účelem návrhu postupů experimentů při hodnocení příčiny porušení lisovacích kleští pro svařování za studena. Popisuje způsob využití kleští, poškození a jejich technologické zpracování. Následně se zaměřuje na možné příčiny porušení a návrh vhodnějšího materiálu.

Klíčová slova:

příčiny porušení, lisovací kleště, svařování za studena

ANNOTATION

Bachelor's thesis has been done for purpose of experiments proposals procedures during evaluation cause of the infringement of pressing tongs which are used for cold welding. Thesis describes the way of plier's usage, damage and its technological processing. Than it is aimed for eventual causes of damage and more suitable material proposal.

Keywords:

the failure causes, pressing tongs, cold welding

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. SOKOLOVSKÁ UHELNÁ, PRÁVNÍ NÁSTUPCE, A.S.	8
3. ZPŮSOB VYUŽITÍ LISOVACÍCH KLEŠTÍ A POŠKOZENÍ	9
3.1. TECHNICKÉ PARAMETRY HYDRAULICKÝCH LISOVACÍCH KLEŠTÍ	9
3.2. POŠKOZENÍ	10
4. MATERIÁL TŘÍDY 19 NÁSTROJOVÁ LEGOVANÁ OCEL	11
4.1. NÁSTROJOVÁ LEGOVANÁ OCEL 19 733.3	11
4.2. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ	12
5. PORUŠENÍ	14
5.1. MIKROMECHANISMY PORUŠOVÁNÍ	14
5.2. PŘECHOD KŘEHKÉHO NA HOUŽEVNATÝ STAV	16
6. LOMY	17
6.1. OBECNÉ ROZDĚLENÍ LOMŮ	17
7. ÚNAVA	19
7.1. PODSTATA ÚNAVOVÉHO POŠKOZOVÁNÍ	19
7.2. CHARAKTERISTIKA ÚNAVOVÉHO PROCESU	19
8. METALOGRAFIE	20
9. NÁVRH VHODNÉHO MATERIÁLU	23
9.1. OBECNÝ POSTUP	23
9.2. POŽADAVKY NA VHODNÝ MATERIÁL	25
10. NÁVRH POSTUPU PRO HODNOCENÍ PŘÍČINY PORUŠENÍ	26
10.1. FRAKTOGRAFICKÁ ANALÝZA	26
10.2. MIKROSTRUKTURNÍ ANALÝZA	26
10.3. MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TVRDOSTI	27
10.4. NÁHRADNÍ MATERIÁL 19 452.3	28
11. ZÁVĚR	29
12. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	30
13. SEZNAM PŘÍLOH	31
14. SEZNAM LITERATURY	32

1. ÚVOD

Troleje se hojně používají především v dopravním průmyslu. Ve společnosti Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. (dále jen SUAS) se využívají na převozy a pro napájení důlní technologické dopravy (vlaků přepravujících vytěženou skrývku a uhlí). Jsou upevněny jen velmi lehce a podléhají náporu, který je na ně kladen. V důlním průmyslu je nutné troleje často nejen prodlužovat, ale také zkracovat a to i v provozu. K tomu slouží speciální svorky. Po demontáži celých úseků opotřebovaných trolejí z provozu se v mnohých firmách zakoupí troleje nové. V SUAS jsou však renovovány. Mechanicky rovnány, neopravitelné části jsou vystřiženy a drát je následně opět svařen (za studena).

Pro svařování za studena jsou využívány speciálně navržené kleště. Jsou vybaveny dvěma páry čelistí. Na jednom páru se po prvním kontaktu obou částí kus odlomil. Odlomená část nijak nebránila dalšímu používání kleští, ale jednalo se o poruchu, a tak byly čelisti vyměněny.

Práce se zabývá popisem použitého materiálu, druhů porušení, typů lomů, únavy, metalografií, postupem hodnocení příčiny porušení kleští a možností změny materiálu.



Obrázek 1.: Levá část lisovacích kleští

2. SOKOLOVSKÁ UHELNÁ, PRÁVNÍ NÁSTUPCE, A.S.

SUAS se řadí mezi největší soukromé výrobce elektrické energie v České republice a to i přes to, že je nejmenší hnědouhelnou těžební společností. Tato společnost se dlouhodobě a velmi aktivně hlásí k systémové ochraně životního prostředí a minimalizaci odpadů, které jsou tak úzce provázány s těžbou.

Hlavními výrobky Sokolovské uhelné jsou energetická energie a teplo, energetické uhlí a karbochemické produkty. Sokolovská uhelná hraje významnou roli v rekultivaci a revitalizaci krajiny dotčené povrchovou těžbou a působí i v odborné likvidaci odpadů vzniklých různorodou průmyslovou činností. Ročně firma vytěží kolem sedmi milionů tun hnědého uhlí v lomu Jiří ve Vintířově.

Od svého založení firma významně investuje do modernizace svých technologických celků. Její těžební i zpracovatelská část tak patří ke špičce jak z hlediska technického, tak v oblasti minimalizace ekologických vlivů. [1]

3. ZPŮSOB VYUŽITÍ LISOVACÍCH KLEŠTÍ A POŠKOZENÍ

Lisování trolejí je velmi vzácné, ač koupě nových trolejí není nejlevnější záležitostí. Rekonstrukce zmiňovaného typu svařování v této práci, se v České republice zabývá pouze SUAS a Mostecká Uhelná. V SUAS divize těžba tuto práci zastávají dva odborně způsobilí pracovníci. Pracoviště se skládá ze tří částí: odvíjecího kola, lisovacích kleští a navíjecího kola.

3.1. TECHNICKÉ PARAMETRY HYDRAULICKÝCH LISOVACÍCH KLEŠTÍ

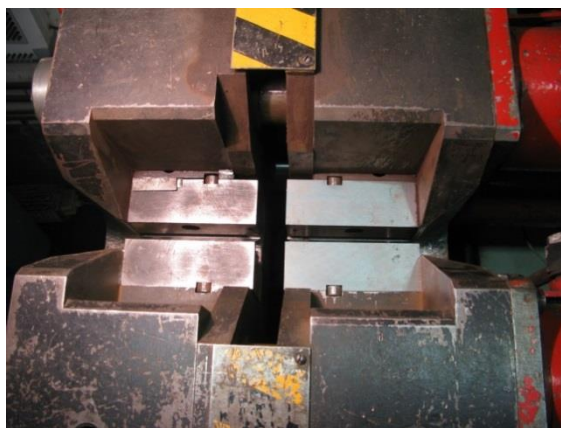
Zařízení je určené na svaření měděných trolejových drátů průřezu 100, 120 a 450 mm². Zařízení má automatický cyklus řízení procesu.

Skládá se z technologického jádra, hydraulického obvodu, řídicí skříně a ovládacího panelu. Vlastní svářecí zařízení je napojeno na samostatný hydraulický agregát.

Lisovací kleště, vybaveny dvěma páry čelistí, svírají dva konce trolejového drátu proti sobě maximální tlačnou silou 400 kN. Mezi čelistmi (svírající jeden konec trolejového drátu) je maximální síla 200 kN.



Obrázek 2.: Lisovací kleště



Obrázek 3.: Detail čelistí v lisovacích kleštích

3.2. POŠKOZENÍ

K poškození kleští došlo při prvním sevření (dotyku) čelistí. Ulomila se pouze jediná část. Čelisti proti sobě v okamžiku poškození působily silou přibližně 200 kN.

Polotovarem pro výrobu čelistí je obdélník 140 x 50 ČSN 42 5522. Materiál je kalen na minimální tvrdost 55 HRC a poté popouštěný.



Obrázek 4.: Porušená čelist

4. MATERIÁL TŘÍDY 19 NÁSTROJOVÁ LEGOVANÁ OCEL

Materiál čelistí lisovacích kleští je nástrojová legovaná ocel 19 733.3. Jedná se o nástrojovou nízkolegovanou W-Cr-Si ocel, s dobrou prokalitelností. Čímž nedochází k velkým deformacím tvaru nástrojů. Legující prvky přispívají ke zvýšení celkové tvrdosti, odolnosti proti opotřebení a trvanlivosti ostří. U materiálu 19 733.3 se jedná o materiál slitinový na bázi wolframu. [4]

4.1. NÁSTROJOVÁ LEGOVANÁ OCEL 19 733.3

Nástrojová ocel použitá u lisovacích kleští je 19 733.3, jak je zmíněno výše. Jedná se o ocel s legujícími prvky Si – křemíkem, Cr- Chromem, W – wolframem.

Prvek	Obsah [%]	Prvek	Obsah [%]
C	0,55	Mn	0,15-0,4
Si	1	Ni	Max 0,35
Cr	1	P	Max 0,03
W	2	S	Max 0,035

Tabulka 1.: Chemické složení oceli 19 733.3

Uhlík (C)

Uhlík má podstatný vliv na vlastnosti oceli, ovlivňuje pevnost, tvrdost, kalitelnost (s rostoucím obsahem uhlíku stoupá pevnost, ale klesá plasticita a houževnatost).

Křemík (Si)

Křemík je silně feritotvorný prvek. Jeho rozpustnost v alfa železe je velmi vysoká a s rostoucí teplotou vzrůstá. V ocelích netvoří karbidy a úplně se rozpouští ve feritu, čímž se zpevňuje. Prokalitelnost zvyšuje méně než chrom a mangan. Posouvá začátek rozpadu martenzitu při popouštění k vyšším teplotám a rozpad zbytkového austenitu probíhá při vyšších teplotách než u nelegovaných ocelí. Nebezpečím u křemíkových ocelí je popouštění a to proto, že se vyvíjí vysokoteplotní popouštěcí křehkost, řešením je popouštění nad pásmem popouštěcí křehkosti a po výdrži na popouštěcí teplotě rychle ochladit. Do obsahu 0,5% se křemík nepovažuje za legovací prvek, ale pouze za dezoxidační přísadu.

Chrom (Cr)

Chrom patří také do skupiny feritotvorných prvků. U nízkolegovaných ocelí na jejich zúšlechťování se obvykle používá chrom na zvýšení prokalitelnosti. Avšak zvýšení prokalitelnosti je podmíněno rozpuštěním karbidů chromu při austenitizaci, jelikož prokalitelnost zvyšuje pouze chrom rozpuštěný v austenitu. Pokud se karbidy chromu nerozpustí, působí naopak, a to jako krystalizační zárodky a ty prokalitelnost snižují. Je nutné počítat s tímto jevem při stanovení kalící teploty, jelikož karbidy chromu se rozpouští až při vyšších teplotách. Chrom se také používá pro zvýšení pevnosti a ořezuvzdornosti.

Wolfram (W)

Wolfram je silně karbidotvorný – zlepšuje kalitelnost, brzdí růst zrn, zvyšuje odolnost vůči opotřebení při vysoké teplotě, řezivost, odolnost proti popouštění (rychlořezné oceli a pro práci zatepla), zvyšuje žáruvzdornost u nízkolegovaných ocelí, tvrdost a stálost ostří u nástrojových ocelí, zvyšuje mez pevnosti v kluzu

4.2. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

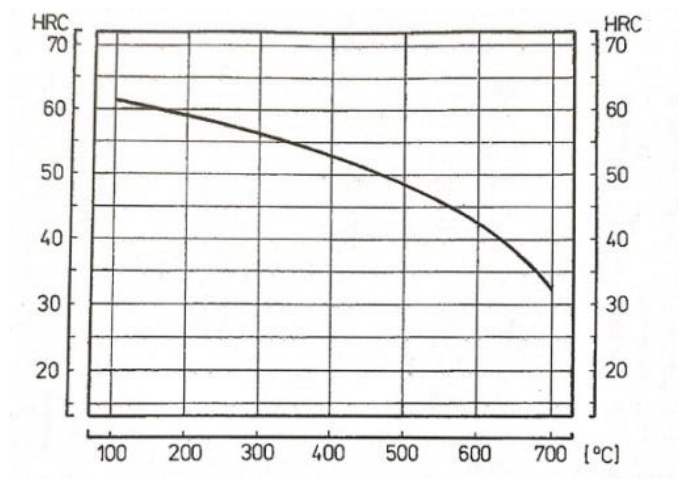
Doplňková číslice za tečkou v označení oceli .3 znamená, že materiál je žíhaný na měkko. Poté jsou možné další tepelné zpracování. Legované nástrojové oceli jsou nejčastěji kaleny do vody nebo oleje a po kalení následuje jednoduché popouštění. [4, 14]

Teploty tepelných zpracování u nástrojových ocelí 19 733 [14]:

- Kování 1050 – 850°C
- Žíhání na měkko 720 – 750°C 4 h na teplotě, ochlazovat ve vypnuté peci
- Žíhání ke snížení pnutí 600 – 650°C 1 – 2 h na teplotě, ochlazovat ve vypnuté peci
- Kalení do oleje 870 – 920°C ochlazovat v oleji (min 56 HRC)
- Popouštění 100 – 400°C ochlazovat na vzduchu

Druhy tepelného zpracování nástrojové oceli 19733.3 použité na svařovací kleště, dle výkresové dokumentace příloha 1, 2:

- Žihání na měkko
- Kalení na minimální tvrdost 55 HRC
- Popouštění



Obrázek 5.: Popouštěcí diagram 19 733

5. PORUŠENÍ

5.1. MIKROMECHANISMY PORUŠOVÁNÍ

Porušování meziatomových vazeb v kovových látkách, které je předpokladem oddělení dvou částí krystalu a vzniku lomu, se může uskutečnit jen dvěma mechanizmy. Smykovým mechanismem, vlivem tangenciálního napětí a štěpením – odtržením od dvou vrstev atomů v krystalu vlivem normálních napětí. Smykový mechanismus reprezentuje tvárné porušování, štěpení reprezentuje křehké porušování. Oba tyto mechanismy se liší velikostí plastické deformace, která je doprovází, i energií spotřebovanou na porušení. [9]

5.1.1. KŘEHKÉ PORUŠOVÁNÍ

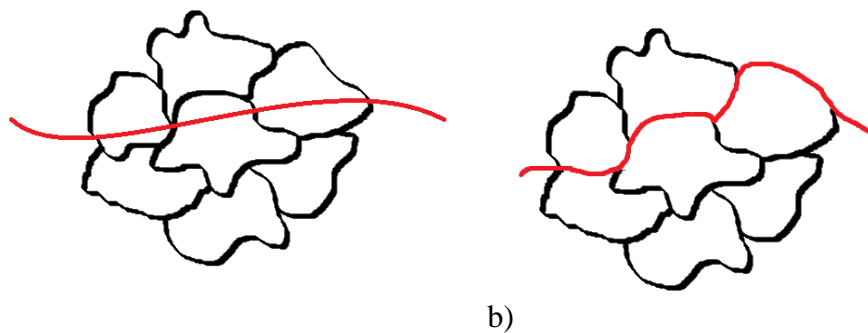
Ke křehkému porušování, může docházet dvěma způsoby, buď transkrystalicky, nebo interkrystalicky.

A. Transkrystalické Štěpení

Uskutečňuje se v krystalografických rovinách a nízkými Millerovými indexy (roviny hustě obsazené atomy). Při štěpení nemusí pokračovat čelo trhliny pouze v jediné rovině ale v mnoha blízkých rovnoběžných rovinách. Jednotlivé plošky – fazety – se při postupu lomu propojují za vzniku stupňů štěpení. Tyto stupně mohou vznikat i při průchodu štěpné trhliny šroubovou dislokací. Na lomové ploše se následkem stupňů vytvářejí kresby. U polykrystalických materiálů se na hranici zrna mění směr štěpení v závislosti na orientaci zrn (někdy za vzniku vysokých stupňů). Rozměr zrn (subzrn) určuje velikost štěpných fazet.

B. Interkrystalické Štěpení

O interkrystalické štěpení se jedná, jestliže jsou hranice zrn slabým místem struktury (vyloučené precipitáty, souvislý film sekundární fáze nebo segregace atomů příměsí na hranicích zrn, snížená koheze na hranicích zrn za vyšších teplot). Od transkrystalického štěpení se liší lomovými ploškami, které odpovídají velikosti ploch oddělující zrna kovu. [9]



Obrázek 6.: Průběh trhlin vzhledem k hranicím zrn

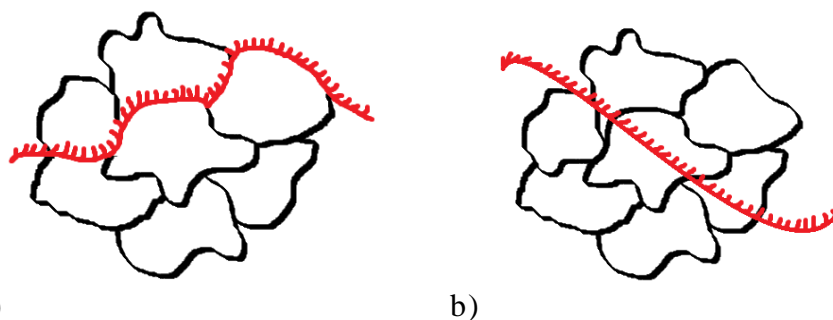
a) transkrystalické štěpení křehké
b) interkrystalické štěpení křehké

5.1.2. TVÁRNÉ PORUŠOVÁNÍ

Tvárné porušení je u čistých kovů spojeno s výraznou deformací. U technických kovů se rozvíjí tvárný lom z dutin, které vlivem rostou tím, že můstky mezi nimi se vytahují a zeslabují. Porušováním můstků se trhliny spojují. Částice jiné fáze, mohou být zárodky dutin, u kterých dojde k dekohezi od matrice nebo existují póry a mikronecelistvosti.

Tzv. jamková morfologie lomového povrchu je charakteristická právě pro tvárné porušení. Tvárné porušení může být také transkrystalické a interkrystalické jako je to u křehkého porušení. Energetické nároky na rozvoj interkrystalického tvárního porušení jsou velmi nízké.

V polykrystalickém kovu se tvárný a křehký transkrystalický a interkrystalický mechanismus porušování uplatňuje podle lokálního strukturního i napěťového stavu a případně i podle prostředí. Charakter lomů se může při rozvoji od místa k místu lišit. Mikrofraktologická analýza má pak statický charakter a hodnotí podíl jednotlivých mechanismů. [9]



Obrázek 7.: Průběh trhlin vzhledem k hranicím zrn

a) transkrystalické štěpení tvárné
b) interkrystalické štěpení tvárné

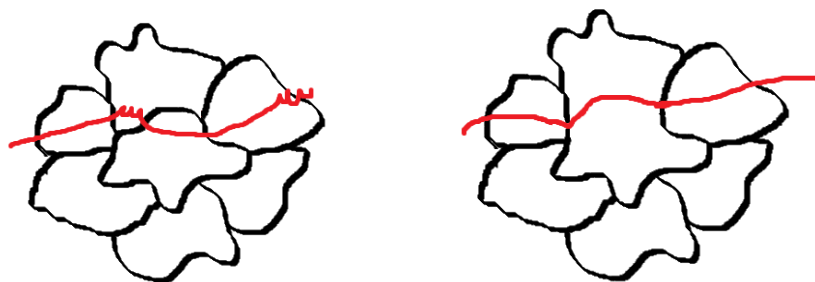
5.2. PŘECHOD KŘEHKÉHO NA HOUŽEVNATÝ STAV

Náchylnost materiálu ke křehkému porušení, které je charakterizováno lokální plastickou deformací soustředěnou pouze v mikroobjemech a samovolným (nestabilním) rozvojem trhliny, není určena jen jeho fyzikálně chemickou povahou. Za přechody mezi houževnatým stavem na stav křehký může řada externích a interních činitelů. Tito činitelé mohou způsobit také změny v mikromechanismu porušování. Hlavní externí činitelé jsou napjatost, rychlost deformace či teplota. Mezi hlavní interní faktory patří typ struktury a substruktury, obsah příměsí, velikost zrna a stupeň předcházející plastické deformace.

U kovů rozdělujeme dva charaktery přechodů z křehkého na houževnatý stav:

1. Přechod plynulý, pozvolný typický pro kovy s mřížkou kubickou plošně centrovanou a mřížkou hexagonální (v běžných podmínkách se nerealizuje mechanismus štěpného porušení).
2. Přechod náhlý, skokovitý, kovy s mřížkou kubickou prostorově centrovanou.

Druhý případ se týká většiny nejrozšířenějších slitin – ocelí. Klasické vysvětlení náhlého přechodu z křehkého na houževnatý stav se opírá o představy P. Ludwika a A.F.Joffeho. Jejich představa rozhoduje podle způsobu porušení za daných podmínek poměr mezi hodnotou tzv. kohezní pevnosti a meze kluzu. U kohezní pevnosti se téměř vylučuje závislost na externích a interních činitelích naopak na mezi kluzu mají velmi intenzivní vliv. [8]



Obrázek 8.: Průběh trhlín vzhledem k hranicím zrn

- a) transkrystalické štěpení křehké smíšené porušení
b) interkrystalické štěpení křehké smíšené

6. LOMY

Reakcí kovu na zatížení je deformace. Mezním případem reakce kovu na vložené zatížení je lom, při něm se vlivem silových účinků poruší soudržnost kovu a oddělují se součásti za vzniku nového volného povrchu. Lom znamená porušení funkce součásti. Stav, při kterém materiál ztrácí schopnost plnit svou funkci, se označuje jako stav mezní. Vznik lomu je mezním stavem. O způsobu a postupu porušování a o charakteru lomu rozhoduje celá řada vnitřních materiálových činitelů, jejich struktura, substruktura, přítomnost defektů a nehomogenit ale také celá řada vnějších činitelů jako je stav napjatosti, způsob zatěžování, teplot, prostředí). Vlivem těchto činitelů se může tentýž materiál porušovat jednou křehce, jindy houževnatě. [9]

6.1. OBECNÉ ROZDĚLENÍ LOMŮ

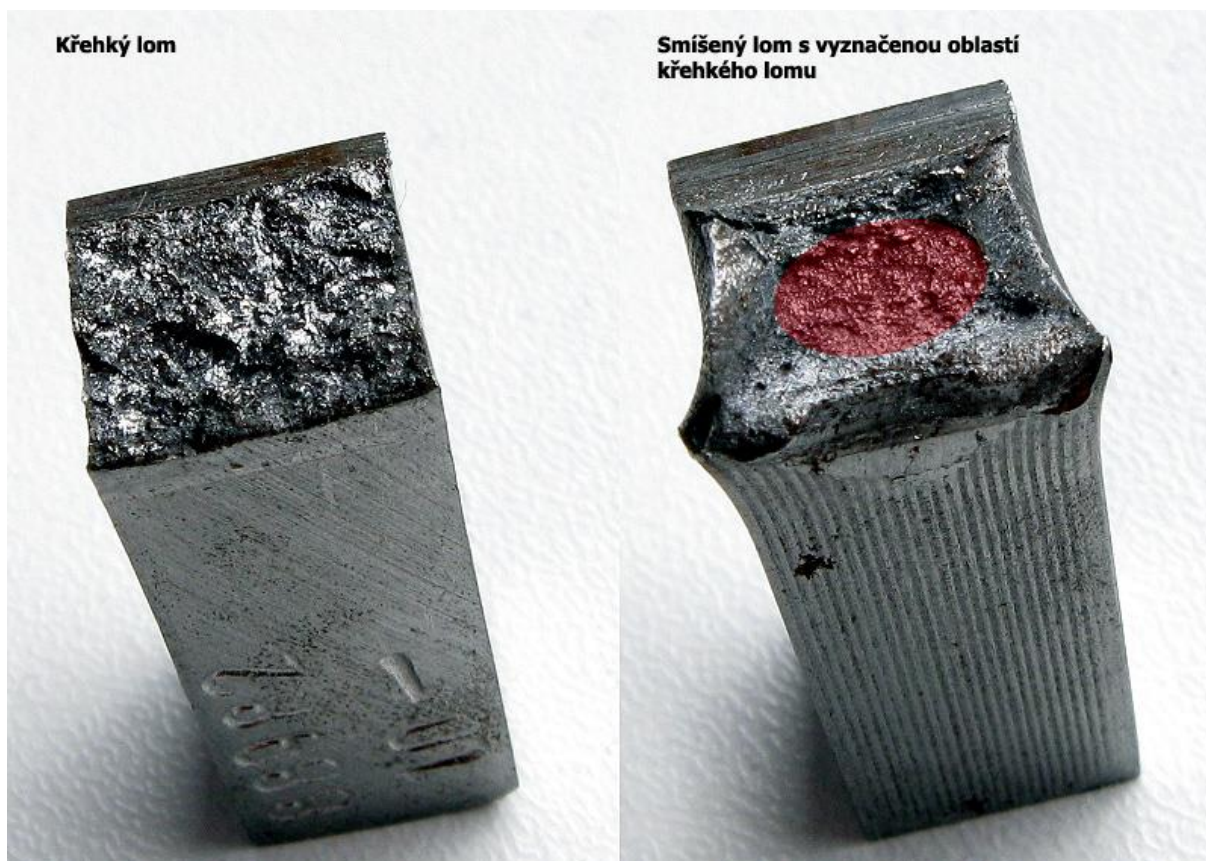
V lomu vzniklém při zmíněných vnitřních i vnějších činitelích, je zakódováno mnoho cenných informací jak o příčinách, tak i o postupném rozvoji porušení. Studium lomů se zabývá fraktografie. Získává informace o mikromechanismech porušování ve vazbě na strukturu materiálu i na vnější činitele a dává podklady o zákonech hromadění poškození za složitých podmínek provozu. Pro analýzu lomu je zde samozřejmě zavést jednotnou klasifikaci lomů a možnost kvantitativního hodnocení lomového povrchu. Základním fyzikálně metalurgickým hlediskem je charakter porušení, podle kterého rozeznáváme křehké (štěpné) a houževnaté (tvárné) silové lomy, dále lomy únavové a při tečení. Z hlediska mechaniky lomu jde o lomy stabilní a nestabilní. Stabilní se šíří postupně, v závislosti na vnějším zatížení. Nestabilní lomy nastávají účinkem energie pružné deformace shromážděné v tělese a jejich rozvoj nelze již ovlivnit změnou vnějšího zatížení.

6.1.1. KŘEHKÝ LOM

Křehký lom je konečnou fází zatěžování, při které dojde k náhlému porušení tělesa, prakticky bez měřitelné trvalé deformace. Ve skutečném tahovém diagramu je mez kluzu vyšší než lomová pevnost. Z hlediska mechaniky jde o nestabilní lom. Lomová plocha je rovinná a je orientovaná kolmo k působícímu napětí. [9]

6.1.2. HOUŽEVNATÝ LOM

Houževnatý lom nastává, je-li lomová pevnost větší než makroskopická mez kluzu. Rozvoj lomu je postupný vlivem zvyšování vnějšího napětí a tím dodávané energie. Z hlediska mechaniky lomu je tento lom stabilním lomem. Rozvoj tohoto lomu, na rozdíl od křehkého lomu, vyžaduje plynulé dodávání energie z vnějšku. Rozvoj lomu může být ovládán změnou vnějšího zatížení. Lom se rozvíjí mikromechanismy tvárného porušování. Lomu předchází makroskopická deformace. [9]



Obrázek 9.: Příklad křehkého a smíšeného lomu. Červeně vyznačená oblast je oblastí křehkého lomu. [6]

7. ÚNAVA

Únava materiálu se rozděluje na vysokocyklovou a nízkocyklovou, a to podle zatěžovacích cyklů vedoucích k lomu. Při vysokocyklové únavě dochází k poškození opakující se plastickou mikrodeformací naopak u nízkocyklové únavy opakovanou plastickou makrodeformací. [9]

7.1. PODSTATA ÚNAVOVÉHO POŠKOZOVÁNÍ

Únava kovů je podmíněna plastickou deformací. Elastická deformace nevede ani při nekonečném počtu cyklů k nevratným změnám ve struktuře a tedy ani ve vlastnostech materiálu. Mnohokrát opakovaná sebe menší plastická deformace vede ke kumulativnímu poškozování, které končí lomem. Celý únavový proces lze na základě vratných změn způsobených cyklickou plastickou deformací, rozdělit do čtyř, po sobě následujících někdy se překrývajících stádií. [9]

7.2. CHARAKTERISTIKA ÚNAVOVÉHO PROCESU

Strojní součásti mohou být namáhány kmitavým anebo pravidelně opakovaným zatěžováním, nazýváme ho zatěžováním proměnným. Toto zatěžování způsobuje, že v určitých místech součásti, v místě koncentrace napětí, vznikají drobné trhlinky, které se postupně zvětšují, až se součást zlomí. Napětí, při kterém se součást takovýmto způsobem namáhání poruší, je většinou podstatně nižší než pevnost materiálu těchto součástí, zjištěna statickou zkouškou. Nejtypičtějším znakem únavových lomů je, že v jejich okolí není zjištěná trvalá makroplastická deformace a to i v případě, že jde o houževnatý materiál, který se při statické zkoušce poruší až po velké plastické deformaci. [9]

8. METALOGRAFIE

Metalografický experiment je jeden ze základních experimentů, kterým se zkoumá vnitřní stavba materiálu.

Metalografie nám umožňuje:

1. Zjišťovat souvislosti mezi strukturou materiálu a jeho vlastnostmi.
2. Sledovat a kontrolovat vlastnosti materiálu při jeho výrobě a zpracování průběžné či mezi operační kontroly).
3. Hledat příčiny porušení vad materiálu nevyhovujících výrobků nebo vysvětlit důvody selhání nějakého zařízení.

PŘÍPRAVA VZORKU

1) Odběr vzorku

Odebíraný vzorek musí plně charakterizovat studovaný materiál.

Pokud k charakteristice daného materiálu nestačí jeden vzorek, musí se odebrat vzorků více. Tento případ je nutné řešit v případě vzorků s nehomogenní strukturou. Příkladem mohou být lité struktury, kde se vyskytuje odmišení či nestejnorodost struktury, která vznikne rozdílnou rychlostí ochlazování v okrajových a středových částech odlitku, to se poté projevuje rozdílnou velikostí zrna.

Pokud má materiál povrchové vrstvy, nastává zvláštní případ odběru vzorku. Přejít mezi tenkou vrstvou a jádrem může být pozvolný - difúzní (sycení povrchu oceli uhlíkem) a plynule se mění i struktura od vrstvy po jádro. Je důležité, aby tento přechod byl součástí odebíraného vzorku. Pokud je na povrchu jen velmi tenká vrstva, která by byla velmi těžko pozorovatelná, pak provádíme tzv. šikmý řez čímž se plocha vrstvy zvětší a je tak jak povrchová vrstva, tak přechod mnohem lépe pozorovatelný.

V našem případě se jedná o materiál porušený, a tak je nutné odebrat vzorek jak z porušeného místa, tak z místa neporušeného.

Odebrat vzorek lze různými technikami: řezáním, frézováním, rozbrušováním, apod. Ve většině případů mají tyto techniky jeden společný rys a tím je intenzivní vznik tepla. Toto teplo může vést ke změně struktury, k vzniku jiné modifikace, k nežádoucí povrchové Beilbyho vrstvě nebo dokonce k natavení materiálu. Všechny tyto změny materiálu jsou nežádoucí a tak je nutné vznikající teplo při odběru vzorku odvádět a to různými chladicími techni-

kami. Výběr techniky odběru vzorku se proto musí velmi dobře uvážit. A to zvláště u vzorků s velmi nízkou teplotou tání. [7]

2) Preparace vzorku

Jsou-li odebrané části materiálu malé, je nutné je preparovat v umělé hmotě. Zvětší se tak plocha metalografického výbrusu a zlepší se tak manipulace při broušení a leštění. Používají se dva základní typy preparace, za tepla a za studena.

Preparace za tepla lze použít pouze u materiálů, u kterých nehrozí ovlivnění struktury teplem. Vzorek se umístí do vyhřívané tlakové nádoby a zasype se práškem ze speciální umělé hmoty. Tato hmota se při zvyšování teploty a tlaku roztaví a dokonale oklopí studovaný vzorek.

Preparace za studena se používá naopak u vzorků, které jsou náchylné ke změnám struktury při zvýšených teplotách. Vzorek se umístí do speciální nádoby a zalije se kapalinou, která po určité době ztuhne (dentakryl).

U poréznych materiálů je nutné nejprve materiál napustit samo tuhoucím roztokem (přyskyřicí), který vyplní póry uvnitř materiálu, čímž je zpevní a poté lze vzorek dále zpracovávat obvyklým způsobem. [7]

3) Broušení

Cílem broušení je dosáhnout rovinného povrchu vzorku s minimálním poškozením povrchu, které se pak snadno odstraní leštěním.

Broušení máme:

- Ruční
- Mechanizované

Faktory ovlivňující broušení:

- Druh povrchu brusného kotouče – dokonalý výbrus se zřídka postupným broušením vzorku na stále jemnějších papírech.
- Typ brusiva – typem brusiva je dána jeho tvrdost, čím tvrdší materiál tím tvrdší brusivo.
- Velikost a tvar částic brusiva – nejvhodnější je tvar nepravidelných mnohostěnů.

Záleží také na velikosti přitlačné síly, která se běžně používá v rozmezí 1-100 N, dále záleží na rychlosti otáčení kotouče většinou v rozmezí 30-150 otáček za minutu. Aby vznikem tepla při broušení nedocházelo k Beilbyho vrstvě je nutné používat smáčedlo či chladicí medium.

4) Leštění

Při leštění materiál ze vzorku neubývá na rozdíl od broušení, nastává tzv deformace vrcholů povrchové drsnosti.

Způsoby leštění:

- Mechanické
- Elektrolytické
- Chemické

5) Leptání

Při leptání dochází ke zviditelnění jednotlivých strukturních částic. Leptání umožňuje odstranit Beilbyho vrstvu abychom mohli pozorovat strukturu.

Vzorek se ponoří do vybraného lepícího činidla o správné koncentraci a teplotě po určitou dobu. Činidlo na povrchu vzorku napadá přednostně energeticky bohatá místa (hranice zrn, fázová rozhraní mezi různými fázemi, B-vrstva). [7]

Rozdělení leptání:

- Leptání na hranice zrna – u většiny materiálů hlavně u tuhých roztoků, dochází zde k napadání hranice zrn a díky tomu se zviditelňují jednotlivá zrna, nedochází zde k barevnému odlišení jednotlivých zrn.
- Plošné leptání – barevné rozlišení jednotlivých zrn.
- Selektivní leptání – barevné odlišení jednotlivých strukturní součástí.

9. NÁVRH VHODNÉHO MATERIÁLU

Neustálý vývoj materiálového inženýrství, na trh přivádí stále velké množství nových a modifikovaných materiálů, a tak je problematika návrhu materiálu pro součásti velmi komplikovanou úlohou. Existují různé databáze a zdroje informací ty nejpřehlednější bývají v elektronické podobě. Tyto zdroje nám napomáhají optimalizovat cestu výběru materiálu a také zvolit konkrétní materiál pro určenou součást.

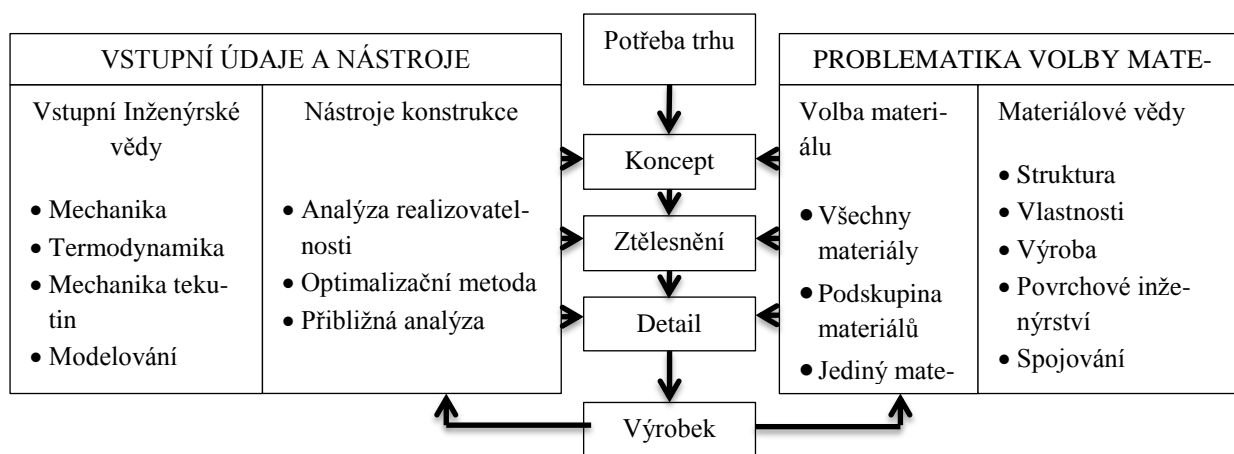
9.1. OBECNÝ POSTUP

První fází volby materiálu je vyhodnocení stanovených kritérií. Jedná se o šest základních konstrukčních technologických a ekonomických parametrů materiálu.

9.1.1. KRITÉRIA VOLBY MATERIÁLU

1. Funkce, mechanické zatížení, typ namáhání a jeho velikost (únava materiálu).
2. Vliv provozního prostředí – vlhkost, teplota atd.
3. Rozměry dílu a začlenění do konstrukčního celku.
4. Množství vyráběných kusů, technologie výroby polotovaru, následné postupy výroby, potřeba tepelného, chemicko – tepelného, tepelně mechanického, mechanického zpracování, povrchových úprav.
5. Cena materiálu, cena výroby, cena dopravy atd.
6. Vlivy výroby na životní prostředí, bezpečnostní rizika a zdravotní rizika.

Volba materiálu se obecně uskutečňuje podle zjednodušeného schématu. Na levé straně schématu by měli být uvedeny vstupní údaje a nástroje pro návrh výrobku. Druhou, pravou, stranu schématu by měla zaujímat problematika volby. Pokud by se za pomoci takového schématu nepodařilo najít vhodný materiál, bylo by jediné řešení a to vyvinout nový či modifikovat starý materiál.



Obrázek 10.: Schéma návrhu výrobku

Největšími trendy v dnešním navrhování materiálu a tvorbě nových konstrukcích jsou individualizace a miniaturizace, které vedou k ohodnocení vlastností na úrovni chemických a atomárních vazeb za vzniku konstrukčních systémů.

Vztahy mezi materiálem a jeho zpracováním na užité vlastnosti výrobku jsou závislé na složení a struktuře materiálu. Z toho vyplývá, že hlavním prvkem pro splnění všech požadavků je materiál a jeho mikrostruktura.

Ze základních nezbytných vstupních údajů při volbě materiálu lze nadefinovat hlavní nároky na použitý materiál. V první řadě se jedná hlavně o vlastnosti mechanické a technologické spolu s ekonomickými ukazateli. Po seřazení a klasifikaci určených vlastností můžeme vybrat skupinu nejvhodnějších materiálů.

Za prvé bychom měli u volby materiálu pracovat s vhodnými ukazateli, které vhodnost materiálu definují (mechanická vlastnost ve vztahu k technickým nebo ekonomickým ukazatelům). V tomto výběru můžeme využít například Ashbyho map, kde se hodnotí youngův modul v závislosti na hustotě. Můžeme pracovat i s poměrnými hodnotami, jako je například specifická pevnost nebo houževnatost (vztažených obvykle k měrné hmotnosti). Vytvoříme přehled o možných užších skupinách materiálů použitelných k danému řešení a konkrétní nároky a postup volby závisí na typu konstrukce, hmotnostních, rozměrových kritériích atd. Pro další zúžení pole volených materiálů potřebujeme přesnější údaje o materiálu jako takovém. Nakonec zvolíme nejvhodnější materiál pro zamýšlený výrobek a ověříme požadované vlastnosti. Lze provádět i další vlastní experimenty. [5]

9.2. POŽADAVKY NA VHODNÝ MATERIÁL

Při výběru vhodného materiálu musíme hlavně uvažovat nad tím, jaké jsou kladeny požadavky na danou součást. Z technické dokumentace, jsme zjistily, že tvrdost musí být nejméně 55 HRC po kalení a musí vydržet minimální tlak 200 kN, kterým jsou čelisti proti sobě stlačovány. Konstruktor, jenž součást navrhoval, změnil u následně vyrobených kusů materiál a stávající materiál 19 733.3 nahradil materiálem 19 452.3.

10. NÁVRH POSTUPU HODNOCENÍ PŘÍČINY PORUŠENÍ LISOVACÍCH KLEŠTÍ

Při návrhu postupu hodnocení příčiny porušení lisovacích kleští je postup následovný:

10.1. FRAKTOGRAFICKÁ ANALÝZA

První částí je fraktografická analýza. Fraktografie je vědní obor zabývající se zákonitostí deformací pevných látek. Analyzuje morfologii lomových ploch na bázi získaných informací, poté interpretuje závěry, které dále vedou k optimalizaci konstrukce konkrétního výrobku.

Fraktografické analýzy jsou nedílnou součástí při hodnocení únavových vlastností konstrukcí letadel. Dalším možným využitím fraktografie je zkoumání příčin poškození součástí způsobujících různé nehody. V těchto případech se analyzuje poškozený díl a na lomových plochách se hledají znaky charakteristické pro určitý typ namáhání. [12]

Využívá se zde elektronový mikroskop a to z důvodu velké hloubky ostrosti, díky které lze zhodnotit příčinu lomu.

Skenovací elektronový mikroskop

Využívá paprsek vysokoenergetických elektronů, ty se střetávají s povrchem vzorku pro vybuzení a zjištění různých druhotných jevů nesoucí informaci o morfologii, složení a krystalické struktuře a orientaci povrchu vzorku.

10.2. MIKROSTRUKTURNÍ ANALÝZA

Mikrostrukturní analýza slouží jako kvalitní a kvantitativní popis prostorových geometrický vztahů mezi materiálovými komponenty menšími než jsou rozlišitelné pouhým okem. Jsou závislé na povaze zkoumaných mikrostruktur a měřítku pro jejich zobrazení jsou tedy používány různé mikroskopické techniky. Výsledky této analýzy slouží k interpretaci původního materiálu, deformačních událostí, které materiál zaznamenala a účinku výsledných mikrostruktur na fyzikální vlastnosti materiálu. Pro tuto analýzu se využívá optický mikroskop.

Optický mikroskop

Zprostředkovává základní strukturní a chemické informace o vzorku a to za velmi nízkých nákladů na vybavení a malého času na přípravu vzorku.

10.3. MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TVRDOSTI

Materiál musí podle zadaných požadavků splňovat určitou tvrdost (55 HRC) tu můžeme měřit několika způsoby. Dle Rockwella a Vickerse. Jedná se o odlišné metody jak ve tvaru indentoru, tak v síle jakou indentoru vniká do tělesa. Obě zkoušky tvrdosti jsou tzv. zkoušky vnikací.

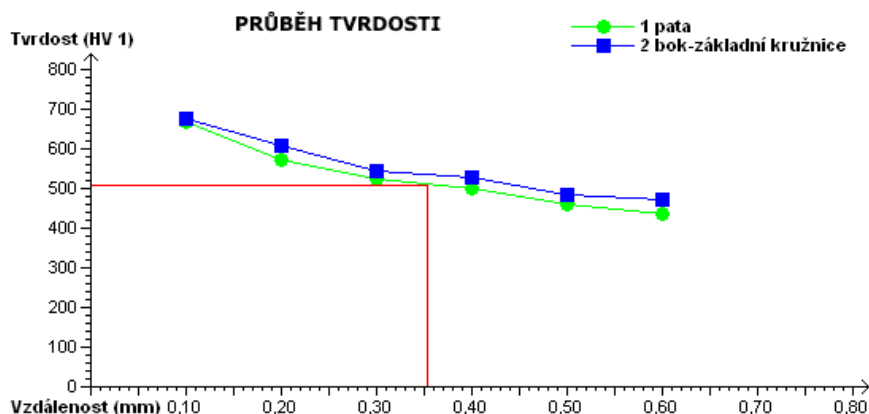
Tvrdost podle Rockwella se měří způsoby HRA, HRB, HRC. U první tvrdosti HRA je indentorem je diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120, zkouška probíhá při zatěžování silou 600 N. U druhé tvrdosti HRB je indentorem kalená ocelová kulička zatěžována silou 1000 N. U poslední třetí tvrdosti HRC je indentorem diamantový kužel jako u HRA, ale je zatěžován silou 1500 N. U všech třech typů měření tvrdosti materiálu se měří hloubka vtisku indentoru.

Tvrdost podle Vickerse značíme HV. Indentorem je pravidelný čtyřboký diamantový jehlan, který se vtlačuje do materiálu silou od 10 do 1000 N. Měří se zde úhlopříčky vtisku.

Z technické dokumentace vyplývá, že budeme měřit tvrdost HRC.

10.4. MIKROTVRDOST A JEJÍ PRŮBĚH

V případě mikrotvrdosti se používá jako vnikací tělísko diamantový jehlan (tvrdost dle Vickerse nebo Knoop). Hodnoty zatěžovaných sil se pohybují od 1–1000g. Měření mikrotvrdosti se používá pro měření malých, tenkých součástí nebo zkušebních vzorků. Průběh tvrdosti od jádra k povrchu se zaznamenává do grafu. Jedná se o závislost tvrdosti HV na vzdálenosti od povrchu. Z grafického průběhu se odečte hloubka prokalení pro tvrdost s podílem 50% martenzitu odpovídající ještě zakalené struktuře. Tato hodnota tvrdosti je určována pro každou ocel experimentálně tzv. Grossmanovou zkouškou. [5]



Obrázek 11.: Příklad průběhu tvrdosti na ozubeném kole [15]

10.5. NÁHRADNÍ MATERIÁL 19 452.3

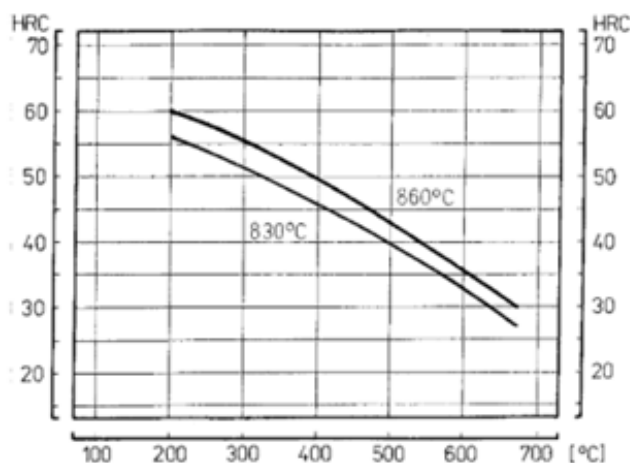
Jako náhradní materiál byl zvolen materiál 19 452.3. Jedná se o nástrojovou legovanou ocel, s legujícími prvky Si – křemík a Cr – chrom [16]:

Prvek	Obsah [%]	Prvek	Obsah [%]
C	0,55 – 0,65	P	Max. 0,030
Mn	0,60 – 0,90	S	Max. 0,035
Si	1,50 – 1,90	Cr	0,70 – 1,00
		Ni	Max. 0,35

Tabulka 2: Chemické složení oceli 19452.3

Teploty tepelného zpracování materiálu jsou [16]:

- Kování 1050 – 850°C
- Žihání na měkko 700 – 730°C ochlazovat v peci, max. tvrdost 230 HB
- Žihání ke snížení pnutí 600 – 650°C ochlazovat v peci
- Kalení do oleje 830 – 860°C ochlazovat v oleji, tvrdost min. 58 HRC
- Popouštění 150 – 250°C tvrdost podle požadavku na tvrdost



Obrázek 12.: Popouštěcí diagram oceli 19 452

11. ZÁVĚR

Úvod práce je věnován stručnému seznámení s firmou a provozem, kde jsou lisovací kleště pro svařování trolejových drátů využívány. Jsou zde vypsány všechny poskytnuté materiálové parametry získané z technické dokumentace SUAS, které byly základem práce.

Po tomto popisu a základních potřebných informacích je práce zaměřena na fraktografii a možné příčiny porušení. Studium fraktografie získáme zhodnocení lomu, z něhož dojdeme k příčinám vzniku lomu. Morfologie každého lomu je podmíněna stavem materiálu (chemické složení, charakter struktury a substruktury) a podmínkami namáhání.

Další část práce je věnována metalografii. Z mikrostruktury jsme schopni zjistit například čistotu materiálu, velikost zrna a strukturu po tepelném zpracování. Dále navrhneme postup hodnocení příčiny porušení lisovacích kleští: fraktografickou analýzu, hodnocení struktury a návrh materiálu.

12. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Levá část lisovacích kleští	str. 4
Obrázek 2 – Lisovací kleště	str. 6
Obrázek 3 – Detail čelistí v lisovacích kleštích	str. 6
Obrázek 4 – Porušená čelist	str. 7
Obrázek 5 – Popouštěcí diagram oceli 19 733	str. 10
Obrázek 6 – Průběh trhlin vzhledem k hranicím zrn	str. 12
a) transkrystalické štěpení křehké	
b) interkrystalické štěpení křehké	
Obrázek 7 – Průběh trhlin vzhledem k hranicím zrn	str. 12
a) transkrystalické štěpení tvárné	
b) interkrystalické štěpení tvárné	
Obrázek 8 – Průběh trhlin vzhledem k hranicím zrn	str. 13
a) transkrystalické štěpení křehké smíšené porušení	
b) interkrystalické štěpení křehké smíšené	
Obrázek 9 – Příklad křehkého a smíšeného lomu.	str. 15
Obrázek 10 – Schéma návrhu výrobku	str. 21
Obrázek 11 – Příklad průběhu tvrdosti na ozubeném kole	str. 24
Obrázek 12 – Popouštěcí diagram oceli 19 452	str. 25

12.2. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Chemické složení oceli 19 733	str. 8
Tabulka 2 – Chemické složení oceli 19 452	str. 25

13. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: VÝKRES ČÍSLO 2 – J – 2008 / LEVÁ ČÁST FORMY

Příloha 2: VÝKRES ČÍSLO 2 – J – 2009 / PRAVÁ ČÁST FORMY

14. SEZNAM LITERATURY

- [1]SOKOLOVSKÁ UHELNÁ, právní nástupce, a.s. Sokolovská uhelná [online]. [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: <http://www.suas.cz>
- [2]KATUŠČÁK, Dušan KATUŠČÁK, Barbora DROBÍKOVÁ a Richard PAPÍK. ČVUT. *Jak psát závěrečné a kvalifikační práce*. 5.vydání. Praha: Enigma, 2008. ISBN 978-80-89132-70.
- [3]*Mezioborové aktivity* [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.moa.zcu.cz/>
- [4]POPOV DR.SC., Prof. Ing. Alexey. Řezné nástroje. In: [online]. [cit. 2014-11-02]. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_RN_PR_04_CZE_Popop_Nastrojove_materialy,_nastrojove_oceli.pdf
- [5]SOBOTOVÁ, J. a kolektiv. *Nauka o materiálu I. a II. Cvičení*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
- [6]GRUBER, Josef. Josef Gruber: Osobní stránka. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z:http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom.html
- [7]Metalografie1.In: VSCHT [online].[cit.2014-12-31].Dostupné z:http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm
- [8]KOUTSKÝ, Jaroslav. *Lomy ocelových částí*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1976, 345 s.
- [9]PLUHAŘ, Jaroslav. *Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu*.Vyd. 1. Praha: SNTL, 1981,418s.
- [10]Tumlikovo. Tumlikovo [online].[cit. 2015-01-03]. Dostupné z:<http://www.tumlikovo.cz/legovane-nastrojove-oceli-tridy-19-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- [11]Pavlovy oficiální domovské stránky. Pavlovy oficiální domovské stránky [online]. [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://svanda.webz.cz/vyuka/legury.htm>
- [12]Fraktografie a elektronková mikroskopie. Týden Vědy na Jaderce [online]. [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://fyztyd.fjfi.cvut.cz/2001/web/sbornik/pdf/elf.pdf>
- [13]Mikrostrukturní analýza. Geofyzikální ústav Akademie věd ČR, v.v.i. [online]. [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://www.ig.cas.cz/struktura/oddeleni/tektonika-geodynamika/mikrostrukturni-analyza>
- [14]ČSN 41 9733. OCEL 19 733: Nástrojová, nízkolegovaná W – Cr – Si.
- [15]ZPS slévárna [online]. [cit. 2015-01-11].Dostupné z: <http://www.sl.zps.cz/zkusebna1.htm>
- [16]ČSN 41 9452. OCEL 19 452: Nástrojová, nízkolegovaná Si – Cr.